

EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TORREÓN
DIVISIÓN DE ESTUDIO DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS DE IRRIGACIÓN**

**Inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento
en plántulas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) bajo
un estrés abiótico**

Tesis que presenta:
Diego Armando Gallegos López

Como requisito parcial para obtener el grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS EN IRRIGACIÓN.

Director de tesis:
Dr. Jorge Arnaldo Orozco Vidal



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

Octubre 2021

Tesis elaborada bajo la dirección del comité particular la cual ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
IRRIGACIÓN**

**COMITÉ
PARTICULAR**

Director de tesis:

Dr. Jorge Arnaldo Orozco Vidal

Co-Director de tesis:

M.C. María Teresa Salazar Ramírez

Asesor:

M.C. Antonio Gerardo Yescas Coronado

Asesor:

Dr. Pablo Yescas Coronado

Torreón, Coahuila, México

Octubre 2021

DEDICATORIAS

A mi madre, por su apoyo, sus lonches, su paciencia, sus buenas palabras, por soportar cada una de mis etapas de la vida y estar siempre como una buena amiga, madre y consejera, siempre te llevaré en el corazón.

A mi padre, por ser tan duro y estar ahí para darme buenos consejos, por darme apoyo y enseñanza desde que fui niño, sin él no tendría cayos en las manos.

A mi hermana por negarme la ayuda cuando era pequeño y haberme impulsado a desarrollarme solo.

A mi hermano por mostrarme el fracaso y estar ahí diciéndome puedo ser más que él.

A mi futura esposa Tere por ser ese punto de apoyo incondicional, por llevar la vida al lado de este caballero, por sus sabias palabras y sus buenos consejos, gracias a ti, conozco la vida de distinta manera y exploto al máximo mis capacidades, aunque haya sido algo duro, el compartir mi vida contigo me ha resultado ser el placer más bendito. Porque eres luz en esta vereda oscura, como navegante que anduvo en el mar sin saber dónde estaba, llegaste y con tu faro iluminaste el camino correcto, por esa y muchas cosas más gracias.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo otorgado para realizar mis estudios de postgrado.

Al Instituto Tecnológico de Torreón (ITT), por darme la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado que serán de gran utilidad para mi desempeño laboral.

A mis asesores Dr. Jorge Arnaldo Orozco Vidal, M.C. Ma. Teresa Salazar Ramírez, Dr. Pablo Yescas Coronado, M.C. Antonio Gerardo Yescas Coronado, por su apoyo en mi formación académica en la Maestría en Ciencias en Irrigación, por la dirección de la presente investigación.

A mis maestros que contribuyeron de manera valiosa en mi formación como Maestro en Ciencias.

A mis amigos y compañeros de generación, por su amistad, alegría y entusiasmo.

INDICE

DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE.....	iii
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo General.....	3
1.2.1 Objetivos Específicos.....	3
1.2. Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Estrés abiótico en plantas.....	4
2.1.1. Estrés hídrico.....	4
2.1.2. Mecanismos de tolerancia frente al estrés hídrico.....	5
2.1.3. Estrés salino.....	6
2.1.4. Mecanismos de tolerancia frente al estrés salino.....	7
2.2. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.....	8
2.2.1. Mecanismos de acción de las PGPR.....	9
2.3. PGPR y estrés abiótico.....	10
2.3.1. Sequía.....	10
2.3.2. Salinidad.....	12
2.3.3. Altas temperaturas.....	13
2.4. Importancia económica del cultivo de chile serrano.....	13
2.4.1. Clima y suelo.....	14
III. MATERIALES Y METODOS.....	16
3.1. Localización del sitio experimental.....	16
3.2. Material vegetal.....	16
3.3. Sustrato utilizado.....	17
3.4. Regímenes de riego.....	17
3.5. Preparación de inóculos.....	18
3.6. Tratamientos y diseño.....	19
3.7. Variables evaluadas en las plántulas de chile.....	20
3.7.1. Altura de plántula.....	20
3.7.2. Longitud de raíz.....	20

3.7.3. Peso fresco de hojas, tallo y raíz.....	20
3.7.4. Peso seco de hojas, tallo y raíz (Materia seca).....	21
3.7.5. Concentración de sodio en plántula.....	21
3.7.6. Análisis microbiológico (UFC).....	21
3.8. Análisis estadístico.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. Efectividad de las rizobacterias en la promoción del crecimiento en plántulas de chile serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	22
4.2. Efectividad de los regímenes de riego en el crecimiento de plántulas de chile serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	24
4.3. Efectividad de las interacciones de rizobacterias y regímenes de riego en la promoción del crecimiento de plántulas de chile serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	25
4.4. Contenido de sodio en plántulas.....	29
4.5. Análisis microbiológico (UFC).....	30
V. CONCLUSIONES.....	31
VI. LITERATURA CITADA.....	32

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Regímenes de riego aplicados	17
Tabla 2.	Identificación por análisis de 16s rRNA de bacterias aisladas de la rizosfera	18
Tabla 3.	Tratamientos evaluados	19
Tabla 4.	Efecto de las rizobacterias en la promoción del crecimiento de plántulas de chile serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.)	22
Tabla 5.	Efecto de los regímenes de riego en el crecimiento de plántulas de chile serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.)	24
Tabla 6.	Efecto de las interacciones de rizobacterias y regímenes de riego en la promoción del crecimiento de plántulas de chile serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.)	26

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Localización del sitio experimental. Laboratorio de Biotecnología en el Instituto Tecnológico de Torreón (ITT)	16
Figura 2.	Material vegetal utilizado, semillas de <i>Capsicum annuum</i> L. (Chile serrano).	17
Figura 3.	Localización de la toma de muestras, Municipio de Viesca, Rancho Pénjamo, Coahuila	18
Figura 4.	Efecto de promoción de crecimiento de las PGPR sobre las plántulas de chile serrano a los 50 días después de la siembra bajo un riego del 100%.	27
Figura 5.	Efecto de promoción de crecimiento de las PGPR sobre las plántulas de chile serrano a los 50 días después de la siembra bajo un riego del 75%.	27
Figura 6.	Efecto de promoción de crecimiento de las PGPR sobre las plántulas de chile serrano a los 50 días después de la siembra bajo un riego del 50%.	28
Figura 7.	Efecto de promoción de crecimiento de las PGPR sobre las plántulas de chile serrano a los 50 días después de la siembra bajo un riego del 25%.	28
Figura 8.	Concentración de Na ⁺ en plántulas de chile serrano a los 50 días después de la siembra (dds).	29
Figura 9.	Comparación de medias de Unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de raíz a los 50 días después de la siembra (dds), de plántulas de chile serrano.	30

RESUMEN

Las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) son un recurso bacteriano importante para los fertilizantes microbianos, que pueden promover el crecimiento de las plantas y aumentar su resistencia al estrés abiótico. En esta investigación se evaluó el efecto de seis cepas bacterianas (PGPR) aisladas de la rizosfera de la candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.), en la promoción de crecimiento en plántulas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) desarrolladas bajo estrés salino e hídrico en condiciones de laboratorio. El diseño experimental constó de un arreglo factorial, cuyos factores fueron: PGPR (NFbEcto18, CasEcto4, CASEcto12, CASEcto13, CASEndo7, CASEndo10) y el contenido de humedad en base al peso seco del sustrato (100%, 75%, 50% y 25%) aplicando agua adicionada con NaCl hasta alcanzar una C.E. de 2.5 dS m^{-1} para todos los tratamientos, bajo un diseño completamente al azar y con cinco repeticiones por tratamiento. Se evaluaron las variables de altura de planta, longitud de raíz, peso fresco, y materia seca, verificando la promoción de crecimiento y concentración de Na^+ en plántula, midiendo así la capacidad de mitigar el estrés salino y las UFC por gramo de raíz para verificar la colonización de la rizobacteria. Las PGPR NFbEcto18 (*Acinetobacter johnsonii*) y CASEcto12 (*Mixta gaviniae*) mostraron diferencias significativas con respecto al control sin inocular para las variables evaluadas, resaltando la variable de altura de planta con la cepa NFbEcto18 (*Acinetobacter johnsonii*) con una lámina de riego al 25% de abatimiento de la humedad aprovechable, donde obtuvo 12.4 cm, mostrando su capacidad para mitigar el estrés hídrico; y la concentración de Na^+ en la planta, donde CASEcto12 (*Mixta gaviniae*) obtuvo una concentración de 3601.83 mg de Na^+ por kilogramo de plántula con respecto al control sin inocular que obtuvo 18,158.04 mg de Na^+ por kilogramo de plántula; mostrando así su capacidad para mitigar el estrés salino. Por lo que estas PGPR pueden ser utilizadas como un método alternativo para el control de estrés hídrico y salino en plántulas de chile serrano, así como mejorar su desarrollo inicial.

Palabras clave: *Acinetobacter johnsonii*, *Mixta gaviniae*, salinidad, estrés hídrico.

ABSTRACT

Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) are an important bacterial resource for microbial fertilizers, which can promote plant growth and increase their resistance to abiotic stress. In this research, the effect of six bacterial strains (PGPR) isolated from the rhizosphere of the candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.), In the growth promotion in seedlings of chile serrano (*Capsicum annuum* L.) developed under saline and water stress was evaluated. under laboratory conditions. The experimental design consisted of a factorial arrangement, whose factors were: PGPR (NFbEcto18, CasEcto4, CASEcto12, CASEcto13, CASEcto7, CASEcto10) and the moisture content based on the dry weight of the substrate (100%, 75%, 50% and 25 %) applying water added with NaCl until reaching an EC of 2.5 dS m⁻¹ for all treatments, under a completely randomized design and with five repetitions per treatment. The variables of plant height, root length, fresh weight, and dry matter were evaluated, verifying the growth promotion; Na⁺ concentration in the seedling, to measure the ability to mitigate saline stress and CFUs per gram of root to verify the colonization of the rhizobacteria. The PGPR NFbEcto18 (*Acinetobacter johnsonii*) and CASEcto12 (*Mixta gaviniae*) showed significant differences with respect to the control without inoculation for the variables evaluated, highlighting the variable of plant height with the strain NFbEcto18 (*Acinetobacter johnsonii*) with a 25% irrigation sheet of abatement of usable humidity, where it obtained 12.4 cm, showing its ability to mitigate water stress; and the concentration of Na⁺ in the plant, where CASEcto12 (*Mixta gaviniae*) obtained a concentration of 3601.83 mg of Na⁺ per kilogram of seedling with respect to the uninoculated control that obtained 18,158.04 mg of Na⁺ per kilogram of seedling; thus showing its ability to mitigate saline stress. Therefore, these PGPR can be used as an alternative method to control water and saline stress in serrano pepper seedlings, as well as improve their initial development.

Key words: *Acinetobacter johnsonii*, *Mixta gaviniae*, salinity, wáter stress.

I. INTRODUCCIÓN

La salinidad es un factor ambiental limitante para el crecimiento de las plantas. Las plantas de Chile son sensibles a este estrés que afecta su producción (Azuma *et al.*, 2010). Altas concentraciones de sal en el suelo y agua reducen la absorción de agua y nutrientes e inhiben procesos metabólicos y afecta la captación de nutrientes. Una alternativa que puede ayudar a las plantas contra este tipo de estrés es el uso de microorganismos (Kumar *et al.*, 2015).

Es importante seguir buscando alternativas de producción, tal es el caso del uso de microorganismos benéficos como las bacterias que a pesar de que se conocieron hasta el descubrimiento por Van Leeuwenhoek (1683), su uso para la estimulación del crecimiento vegetal ha sido explotado desde tiempos antiguos (Bhattacharyya y Jha, 2012).

Los microorganismos juegan un papel muy importante en el ámbito agrícola al ser una alternativa importante para poder disminuir los efectos nocivos de estrés abiótico (sequía, altas y bajas temperaturas, salinidad, toxicidad por metales, etc.) en la producción de los cultivos (Milošević *et al.*, 2012). La promoción de crecimiento en plantas producido por las PGPR puede ser multifactorial; como la solubilización de fosfatos, producción de sideróforos, fijación biológica de nitrógeno, producción de la enzima 1-Aminociclopropano- 1-ácido carboxílico (ACC) desaminasa, producción y regulación de fitohormonas, actividad de biocontrol, producción de componentes orgánicos volátiles (VOC's), activación de la resistencia sistémica inducida (ISR), etc. (Bhattacharyya y Jha, 2012).

Las Bacterias Promotoras del crecimiento Vegetal (PGPR) se pueden adaptar a diversas condiciones ambientales y además tienen la capacidad de ayudar a mitigar condiciones de estrés en plantas. En condiciones de sequía y/o salinidad el efecto de protección de las PGPR consiste en reducir la producción de etileno, incrementar

las concentraciones de fitohormonas como el ácido abscísico y las auxinas, dar protección contra las especies reactivas de oxígeno (ROS), producir solutos compatibles, solubilizar fosfatos, producir exopolisacáridos y controlar a los fitopatógenos (Arkhipova *et al.*, 2004; Ruppel *et al.*, 2013).

En este sentido, el presente trabajo pretende evaluar la respuesta en la producción de plántulas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) inoculadas con seis cepas promotoras de crecimiento vegetal aisladas de la rizósfera de la candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc) bajo un estrés hídrico y salino.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Determinar el efecto de las PGPR en el crecimiento de las plántulas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) bajo un estrés abiótico.

1.1.2. Objetivos específicos

1. Cuantificar la efectividad de las cepas bacterianas seleccionadas en la promoción de crecimiento de plántulas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.).
2. Evaluar cuatro variantes de riego, a partir del contenido volumétrico del agua que absorbe el sustrato, para determinar el efecto de la cepa bacteriana en la resistencia al estrés hídrico.
3. Medir el contenido de sodio (Na^+) en plántula para determinar el efecto de la cepa bacteriana en la resistencia a salinidad.

1.2. HIPÓTESIS

La inoculación con rizobacterias promotoras de crecimiento en el cultivo de chile serrano (*Capsicum annuum* L.), disminuirá los efectos provocados por el estrés salino e hídrico y promoverá su crecimiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Estrés abiótico en plantas

El crecimiento vegetal, así como el desarrollo, el aumento de biomasa y la productividad dependen, en último lugar, de la capacidad del metabolismo y la fisiología vegetal para adaptarse y aclimatarse a las condiciones ambientales en cambio constante. Las condiciones ambientales son percibidas por los distintos órganos de la planta, y esta información se transmite internamente mediante la modulación de la síntesis de señales, fundamentalmente hormonas, que activan las respuestas de desarrollo y crecimiento vegetativo (Talón *et al.*, 1991; Zeevaart *et al.*, 1993). Las respuestas de la planta dependen del genotipo y del estado de desarrollo de la misma en el momento del estrés, de la duración y la severidad del mismo y de los factores ambientales que lo provoquen. Una vez activadas estas respuestas, el crecimiento propiamente dicho, se verá limitado por el aporte de nutrientes, elementos minerales y carbohidratos (Gillapsy *et al.*, 1993). La planta es capaz de, si las condiciones ambientales se vuelven desfavorables, reprimir las respuestas de crecimiento (incluso después de haberse iniciado el periodo de desarrollo) y desencadenar mecanismos de protección y defensa que abortan el desarrollo y aseguran la supervivencia de la planta bajo condiciones ambientales adversas. Hay diversas condiciones medioambientales adversas que pueden provocar estrés en la planta (Mano, 2002): la sequía, la salinización del suelo y/o del agua de riego, las temperaturas extremas, el viento fuerte, el encharcamiento del suelo, etc.

2.1.1. Estrés hídrico

Los principales componentes del potencial hídrico (Ψ) son el potencial osmótico (Ψ_s), el potencial de turgencia (Ψ_t) y el potencial matricial (Ψ_m). El potencial osmótico se debe a la presencia de sustancias disueltas, el potencial de turgencia

es el que aparece debido a la presencia de la pared celular y el potencial matricial es el debido a la fuerza de adsorción que ejercen las paredes de los conductos sobre las moléculas de agua circulante. La relación entre el potencial hídrico, potencial osmótico, potencial de turgencia y potencial matricial se expresa como:

$$\Psi = \Psi_s + \Psi_t + \Psi_m.$$

Cuando las plantas se encuentran en condiciones de estrés hídrico y pierden agua, su Ψ disminuye. Esto ocurre normalmente de forma simultánea a una disminución del potencial de turgencia y a una disminución del potencial osmótico, al implicar la pérdida de agua una mayor concentración de solutos. Sin embargo, en las plantas que poseen ajuste osmótico, la bajada del Ψ no implica necesariamente una pérdida de turgencia ya que estas plantas son capaces de acumular de forma activa sustancias osmóticas que disminuyen el Ψ_s , al menos temporalmente, evitando la pérdida de turgencia y en consecuencia permitiendo el desarrollo normal de la fisiología celular.

Desde el punto de vista agrícola, las posibles soluciones frente al estrés hídrico pasan por la modernización de los sistemas de regadío y por la utilización de cultivos con pocas necesidades hídricas. Por ello, numerosos proyectos de investigación a nivel mundial están orientados a la obtención de variedades que sean capaces de resistir mejor las condiciones adversas de falta de agua (Parry *et al.*, 2005).

2.1.2. Mecanismos de tolerancia frente al estrés hídrico

La resistencia a la sequía de un cultivo hace referencia a su capacidad para crecer satisfactoriamente en zonas con déficit hídrico. Las modificaciones que tienen lugar en la estructura y función de las plantas para aumentar la probabilidad de sobrevivir y reproducirse en un ambiente determinado se llama adaptación.

No todos los mecanismos relacionados con la tolerancia a la sequía están exentos de costes metabólicos para la planta. Turner (1986), estudió la influencia de los mecanismos adaptativos sobre la productividad del cultivo, comprobando que sólo aquellos mecanismos que favorecen el escape a la sequía, el mantenimiento de la

entrada de agua y el mantenimiento de la presión de turgencia, no reducen la fotosíntesis, el crecimiento y el rendimiento del cultivo.

Se distinguen tres mecanismos de adaptación de las plantas a la sequía (Blum, 1988; Ceccarelli, 1989):

- Mecanismos de escape de la sequía: capacidad de las plantas para completar su ciclo de vida antes de que el déficit hídrico sea más severo. En cultivos pluri- anuales, mediante la selección de precocidad.
- Mecanismos de aplazamiento o evitación de la deshidratación: capacidad de las plantas para mantener un potencial hídrico relativamente alto en condiciones de estrés hídrico, atmosférico o del suelo, mediante el cierre estomático y el ajuste osmótico.
- Mecanismos de tolerancia a la deshidratación: (i) capacidad de las plantas para reducir la actividad química del agua; (ii) concentrar solutos y macromoléculas y (iii) producir modificaciones en las membranas celulares.

2.1.3. Estrés salino

La atmósfera provoca la disolución de las sales minerales presentes en las rocas, sedimentos y suelos. Atendiendo al origen de las sales presentes en el sustrato se distinguen dos tipos de salinización. La salinización primaria es aquella derivada de la acumulación de sales de origen mineral en el lecho oceánico, en los suelos salinos, en las aguas subterráneas, etc. (Tanji, 2002).

Mientras que la salinización secundaria se produce cuando las sales proceden del agua de riego, de residuos del abonado, de fertilizantes químicos y de la aplicación de lodos de depuradora (Tanji, 2002).

La salinización secundaria se produce directamente por la acción del ser humano. Esta salinización va asociada a la evolución de la agricultura, tanto a nivel de las técnicas de irrigación como a los cambios en el uso y distribución del agua. Se produce debido a una aportación de agua insuficiente que impide una adecuada lixiviación de las sales del suelo (Pitman y Läuchli, 2002). Dentro del área mediterránea este fenómeno es un grave problema que pone en peligro la economía

agrícola. La masiva urbanización de las zonas costeras obliga a la sobreexplotación de pozos, lo que provoca un desajuste en el equilibrio de agua dulce-salada y se producen intrusiones marinas que hacen inadecuada el agua para el riego.

El efecto de las sales sobre la fisiología de las plantas presenta una doble vertiente, un efecto osmótico y otro iónico (Munns, 2002). La acumulación de sales en la zona radicular provoca el descenso del potencial hídrico del suelo y dificulta la absorción de agua y nutrientes; pero la planta, a través de diferentes mecanismos, consigue restablecer el balance osmótico. Es en este punto cuando la absorción de las sales y su incorporación a los tejidos llevan a la aparición del efecto iónico que provocará diferentes daños en la planta dependiendo, por una parte, de la sensibilidad del genotipo a las sales y, por otra, de la especie iónica implicada (Munns, 2002).

2.1.4. Mecanismos de tolerancia frente al estrés salino

Para combatir las condiciones de salinidad, las plantas han desarrollado diferentes mecanismos y estrategias que se pueden clasificar en (Breckle, 2002):

- Mecanismos para evitar el estrés salino: (i) crecimiento limitado a las épocas favorables; (ii) elección de los lugares más favorables para el crecimiento y (iii) limitación del crecimiento radical y la absorción en horizontes concretos del suelo.
- Procesos de evasión y adaptación: (i) absorción selectiva de los iones Na^+ y Cl^- ; (ii) compartimentación de las sales en la planta, en determinados tejidos o células: el parénquima xilemático, las raíces o la parte aérea; (iii) síntesis de solutos orgánicos; (iv) translocación de las sales a las raíces y secreción al exterior; (v) almacenaje en los órganos senescentes y (vi) secreción a través de estructuras similares a glándulas, en la parte aérea.
- Mecanismos de tolerancia: (i) incremento de la tolerancia de los tejidos, de las células o de los orgánulos celulares y (ii) aumento de la halo-suculencia, mediante el incremento de la suculencia foliar o el aumento de la suculencia del brote y disminución del número de hojas.

Estas estrategias implican la acción de diferentes mecanismos (transporte de solutos compatibles, señalización de procesos en desarrollo, etc.) que intervienen para conseguir que la planta crezca, se desarrolle y llegue a producir en condiciones de elevada salinidad. Las especies vegetales que disponen de esos mecanismos son las especies tolerantes (Breckle, 2002).

Actualmente, en las áreas afectadas por la salinización se usan especies tolerantes y se aplican técnicas de cultivo específicas dirigidas a la reducción de los efectos de la salinidad sobre la producción. Hay muchas estrategias para combatir la salinidad: uso de agua de mayor calidad (menos salada) mientras se asienta el cultivo, uso de patrones tolerantes, etc. La aproximación que ha dado mejores resultados es la implantación de sistemas de riego localizado, que permiten un mejor aprovechamiento del agua (Shennan *et al.*, 1995; Goyal *et al.*, 1999).

2.2 Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

A finales de la década de los setenta Kloepper y Schroth utilizaron el término PGPR (de las siglas en inglés Plant Growth Promoting Rhizobacteria) para referirse a aquellas bacterias que se encuentran libres en el suelo, capaces de adaptarse, colonizar y permanecer en la rizósfera de la planta (Rives N., 2007).

Existen dos tipos generales de bacterias benéficas para las plantas: las que forman relaciones simbióticas, que involucran la formación de estructuras especializadas o nódulos en las raíces de las plantas hospedadoras; y las que están libres en el suelo y usualmente se encuentran cerca, o en las raíces de las plantas (Saghir *et al.*, 2009). Las PGPR, comprenden una amplia diversidad de bacterias, entre los géneros mencionados con actividad PGPR son: *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Artrobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Pseudomonas* y *Serratia*; aunque las más estudiadas son *Bacillus* y *Pseudomonas* (Kumar *et al.*, 2011). Estas bacterias generalmente se multiplican, y habitan de forma natural el área rizosférica de diversas plantas y cultivos, además, al asociarse simbióticamente con estas, han evidenciado su potencialidad para promover el crecimiento y desarrollo de las mismas, que sucede a través de mecanismos que

utilizan como defensa de las plantas ante el ataque de microorganismos fitopatógenos, o en la captación de nutrimentos. La inducción de estos mecanismos puede ser de forma indirecta o directa; (Quiñones *et al.*, 2010; Jha *et al.*, 2012; Mapelli *et al.*, 2013; Angulo *et al.*, 2014). Los mecanismos de promoción de crecimiento directos son aquellos cuando la bacteria sintetiza o facilita la absorción de los nutrientes y los indirectos es cuando la bacteria reduce o previenen la infección de agentes fitopatógenos por medio de la producción de sustancias inhibitoras para los microorganismos patógenos (Cartieaux *et al.*, 2003; Schuegger *et al.*, 2006).

Los miembros del género *Pseudomonas* pueden estar presentes en distintos entornos; la clave de su fácil adaptación se encuentra en su variedad metabólica y fisiológica que le posibilita la colonización en hábitats terrestres y acuáticos. Entre los beneficios que las *Pseudomonas* ofrecen a las plantas son la eliminación de microorganismos fitopatógenos y síntesis de hormonas vegetales (Silby *et al.*, 2011). El género *Bacillus* se distingue por su versatilidad para promover crecimiento, pues tiene la cualidad de producir fitohormonas como ácido indolacético, fijar nitrógeno, en la producción de sideróforos, actividad para producir antibióticos, enzimas y solubilizar fósforo; en resumen, es un excelente representante de las PGPR (Nabti *et al.*, 2013).

2.2.1. Mecanismos de acción de las PGPR

Las rizobacterias poseen varios mecanismos para promover el crecimiento de las plantas, entre los que se incluye un aumento de la movilización de nutrimentos, fijación de nitrógeno, mejoramiento en la absorción de nutrientes y control biológico de patógenos (Bais *et al.*, 2006, De-Bashan *et al.*, 2007, Dias *et al.*, 2009, Hariprasad y Niranjana 2009, Altomare y Tringovska 2011). Además, sintetizan sustancias reguladoras del crecimiento como giberelinas, citoquininas y auxinas y estimulan la densidad y longitud de pelos radicales, con lo que incrementan la capacidad de absorción de agua y nutrientes, que resulta en mayor crecimiento y

adaptación a condiciones de sequía, acidez y alcalinidad (Sandhya *et al.*, 2010, Saraf *et al.*, 2011).

La promoción de crecimiento en plantas producido por las PGPR puede ser multifactorial; como la solubilización de fosfatos, producción de sideróforos, fijación biológica de nitrógeno, producción de la enzima 1-Aminociclopropano- 1-ácido carboxílico (ACC) desaminasa, producción y regulación de fitohormonas, actividad de biocontrol, producción de componentes orgánicos volátiles (VOC's), activación de la resistencia sistémica inducida (ISR), etc. (Bhattacharyya y Jha, 2012).

Las PGPR se pueden adaptar a diversas condiciones ambientales y además tienen la capacidad de ayudar a mitigar condiciones de estrés en plantas. En condiciones de sequía y/o salinidad el efecto de protección de las PGPR consiste en reducir la producción de etileno, incrementar las concentraciones de fitohormonas como el ácido abscísico y las auxinas, dar protección contra las especies reactivas de oxígeno (ROS), producir solutos compatibles, solubilizar fosfatos, producir exopolisacáridos y controlar a los fitopatógenos (Arkhipova *et al.*, 2004; Ruppel *et al.*, 2013).

2.3. PGPR y estrés abiótico

En las últimas décadas se han realizado algunos estudios que comprueban que ciertas PGPR le proporcionan a la planta un grado de tolerancia a diferentes tipos de estrés abiótico (sequía, salinidad, metales pesados, etc.).

2.3.1. Sequía

Las PGPR son capaces de mitigar el estrés en plantas causado por sequías mediante diversos mecanismos. A) Ácido Abscísico y Citoquininas. Actualmente se sabe que la sequía afecta el balance hormonal incrementando el contenido de ABA en parte aérea y a su vez reduce los niveles de citoquininas endógenas, lo anterior activa el mecanismo de cierre de estomas, como respuesta a la sequía evitando la pérdida de agua (Yang *et al.*, 2009). El antagonismo entre citoquininas y ABA puede

ser el resultado de interacciones metabólicas: las citoquininas comparten un origen biosintético común con ABA, creando claramente el potencial para el antagonismo en la formación de estos dos compuestos (Cowan *et al.*, 1999). Un alto contenido de citoquininas puede anular los efectos de ABA en la funcionalidad de las estomas bajo condiciones de estrés; por lo tanto, una reducción en el suministro de esta hormona podría amplificar la respuesta y disparar a un contenido cada vez mayor de ABA (Davies y Zhang, 1991).

B) Producción de antioxidantes. El estrés salino da lugar a la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales afectan a las células de la planta, causando daño oxidativo en la membrana de lípidos, proteínas o DNA, sin embargo, hay enzimas que se encargan de evitar dichos daños, por ejemplo, el superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y ascorbato peroxidasa (POX) y antioxidante no enzimático tal como ascorbato, glutatión y tocoferol. Las PGPR usan mecanismos similares para neutralizar el estrés oxidativo que es causado por ROS, a través de la inducción de enzimas antioxidantes tales como ascorbato peroxidasa y superóxido dismutasa (Kohler *et al.*, 2009 a, b; Jha y Subramanian, 2014).

C) Inhibición de la síntesis de etileno. El etileno es una hormona gaseosa que desempeña múltiples funciones en la regulación del crecimiento y desarrollo de la planta, también sirve como modulador clave entre la respuesta de la planta al estrés ambiental y crecimiento normal. Dicho estrés se puede contrarrestar mediante la degradación del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) mediante la enzima ACC desaminasa, ayudando a disminuir el estrés y por lo tanto promoviendo el crecimiento normal de la planta (Abeles *et al.*, 1992; Glick *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2009). Recientes estudios han mostrado que las PGPR que contienen ACC desaminasa inducen la producción de raíces más largas, ayudando a una mayor absorción de agua (Saleem *et al.*, 2007; Zahir *et al.*, 2008; Esquivel-Cote *et al.*, 2013).

2.3.2. Salinidad

La salinidad de los suelos se ha convertido en uno de los principales problemas en el mundo, que afecta aproximadamente a 400 millones de hectáreas de cultivos de interés económico (Bot *et al.*, 2000; FAO, 2002), interfiriendo en la germinación, crecimiento y el rendimiento de cultivos (Khan y Panda, 2008). Entre los efectos negativos de la salinidad se encuentran el incremento en la producción de etileno, plasmólisis (pérdida del líquido constituyente de las células, en condiciones hipertónicas), toxicidad de Na^+ y Cl^- , incremento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y afectación de la fotosíntesis (Sairam y Tyagi, 2004; Gamalero *et al.*, 2009). Las PGPR usan diferentes mecanismos para contrarrestar el estrés salino, entre los que destacan A) Osmorregulación y acumulación de prolina. La prolina es un aminoácido que se encarga de proteger las membranas y proteínas contra efectos de iones inorgánicos, y su acumulación reduce el potencial redox en las células bajo ambientes salinos (Jain *et al.*, 2001; Wahid y Close, 2007). Además de llevar a cabo un importante papel en el mantenimiento de la homeostasis y funcionamiento de estructuras fotosintéticas, para combatir el impacto de la salinidad en plantas. Algunos iones como el sodio (Na^+) y el cloro (Cl^-) ayudan a la adaptación de la planta a la salinidad, contribuyendo al ajuste osmótico de las vacuolas, los exopolisacáridos también ayudan a aminorar el estrés ocasionado por la salinidad, evitando que el Na^+ esté disponible para la planta (Bano y Fatima, 2009). B) Transporte restringido de Na^+ . C) Solubilización de fosfatos. El fósforo es uno de los elementos más importantes para la planta ya que interviene en una serie de procesos metabólicos como la fotosíntesis, la respiración, y la síntesis del almidón, pero especialmente porque forma parte de los ácidos nucleicos (DNA y RNA), del trifosfato de adenosina (ATP), difosfato de adenosina (ADP) y del monofosfato de adenosina (AMP) (Rodríguez y Flores, 2004). La disponibilidad de fósforo en suelos salinos es limitada, por lo que las PGPR se encargan de solubilizar fosfatos. La solubilización de fosfatos por parte de las bacterias la realizan por acidificación, quelación, reacción de intercambio iónico y la producción de ácidos orgánicos de bajo peso molecular tal como el ácido glucónico.

La solubilización de los fosfatos realizada por las PGPR contribuye a disminuir los efectos de la salinidad y en consecuencia a mejorar el desarrollo de la planta (Giri *et al.*, 2003; Turner *et al.*, 2006). D) Síntesis de auxinas. La auxina endógena de más abundancia es el ácido indolacético (IAA), que cumple con la mayor parte de las acciones realizadas por las auxinas. Además del IAA sólo se han encontrado otros tres tipos de auxinas en las plantas; el ácido-indol-3-butírico, el ácido 4-cloroíndole-3-acético y el ácido fenil acético (Sauer *et al.*, 2013). Estas hormonas vegetales desempeñan una función relevante en el crecimiento, el desarrollo y la formación de tejidos vasculares en la planta mediante la regulación de la expresión de genes (Abel y Theologis, 1996; Miransari y Smith, 2014).

2.3.3. Altas temperaturas

El estrés por altas temperaturas es un problema cada vez más común, y es asociado al fenómeno del calentamiento global, afectando en gran medida la agricultura (Mendelsohn *et al.*, 1994; Robertson *et al.*, 2000). Algunas bacterias promotoras de crecimiento como *Bacillus subtilis* han mostrado la cualidad de inducir termotolerancia en plantas de maíz, sintetizando proteínas de alto peso molecular, conocidas como proteínas de choque térmico (HSPs). Cuya función es proteger a otras proteínas que son afectadas por las altas temperaturas (Castiglioni *et al.*, 2008).

2.4. Importancia socioeconómica del cultivo de chile serrano

El chile (*Capsicum annum* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia económica dentro de la horticultura, siendo China el principal productor mundial con más de 10.7 millones de toneladas producidas, sin embargo, México ocupó el segundo lugar con más 1.7 millones de toneladas (FAOSTAT 2013). La superficie sembrada de chile verde a nivel nacional en los últimos 10 años ha sido aproximadamente de 156 mil hectáreas anuales (Anuario estadístico de la producción agrícola, SIAP-SAGARPA 2005). Es una hortaliza de importancia

económica en México y representa una alternativa para la agricultura protegida, la cual actualmente se localiza en zonas desérticas del norte y en el centro del país donde el agua es limitada la producción agrícola bajo riego. El costo de producción de este cultivo fluctúa de 10,000.00 a 40,000.00 dólares por Ha, en campo abierto o invernadero respectivamente, siendo tres los factores en donde radica la verdadera importancia del cultivo: a). Participación elevada en el valor de la producción agrícola regional y nacional, b). Opción que genera altos ingresos a los productores y, c). Es fuente generadora de empleos en las áreas de riego, ya que genera entre 150 y 160 empleos en el ciclo de producción. A pesar de la importancia del cultivo del chile, su rendimiento es bajo en muchas regiones del país, debido probablemente a un manejo agronómico inadecuado (fertilización, variedades y densidades) o a condiciones ambientales adversas (temperatura, precipitación, suelo no apto para el cultivo) y problemas fitosanitarios. Por lo que existe la tendencia hacia la búsqueda de nuevas alternativas de producción (Garrido López 2013).

2.4.1. Clima y suelo

No es fácil describir el cultivo del chile en términos generales, puesto que varía mucho según las condiciones ambientales y culturales de cada zona.

Hay más variedades de chiles cultivados en México que en cualquier otro país. Aunque es posible sembrar casi todos los tipos en cualquier zona, algunos se adaptan mejor a ciertas condiciones ambientales que otros, esto ha provocado la especialización regional en la producción comercial de algunos de ellos. Los de fruto grande, como el pimiento o el grupo de los chiles Poblanos, se desarrollan y producen en la altiplanicie y en valles semiáridos con riego, mientras que los chiles delgados o pequeños se producen mejor en las tierras semitropicales.

La planta es susceptible al frío y requiere de un clima templado. Por otro lado, las temperaturas demasiado altas la perjudican, causando la caída de flores y por lo tanto, la mala formación del fruto. En condiciones óptimas, debe haber por lo menos de tres a cinco meses de calor para su buen desarrollo.

Los chiles tienen la misma adaptación general del tomate excepto que los tipos dulces se dan mejor en condiciones de temperatura media más alta que los chiles picantes. Según Knott, (1957), citado por Cásseres (1971), para los chiles dulces la temperatura media mensual óptima es de 21° a 30° C, mientras que los chiles picantes requieren de 21° a 24° C, sin embargo, este último grupo está representado por variedades adaptadas tanto a zonas frescas como a zonas cálidas.

El suelo franco arenoso y bien drenado ayuda a evitar enfermedades de las raíces causadas por el exceso de agua, pues requiere de humedad controlada a lo largo de su ciclo de cultivo.

El chile es un cultivo moderadamente tolerante al salitre, así como también prefiere un PH de 6.2 a 7.0. (Martínez, 1998)

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del sitio experimental

La investigación se llevó a cabo durante el ciclo agrícola primavera-verano 2020, en el laboratorio de Biotecnología en el Instituto Tecnológico de Torreón (ITT) ubicado en el km 7.5 de la antigua carretera Torreón-San Pedro, Coahuila, México. El clima dominante en esta región es semidesértico, presenta un clima extremo con escasas lluvias, precipitación entre 100 y 300 mm como media anual; la temperatura promedio fluctúa entre los 30° a 40° C en verano y 8.5 °C en invierno.



Figura 1. Localización del sitio experimental. Laboratorio de Biotecnología en el Instituto Tecnológico de Torreón (ITT)

3.2. Material Vegetal

Se utilizaron semillas de *Capsicum annuum* L. Chile serrano (Figura 2).

Antes de la siembra e inoculación, la semilla de chile se desinfectó con cloro al 20 % por 5 min y lavada cuatro veces con agua destilada estéril



Figura 2. Material vegetal utilizado, semillas de *Capsicum annuum* L. (Chile serrano).

3.3. Sustrato utilizado

El sustrato utilizado para el crecimiento de las plántulas de chile serrano fue una mezcla de musgo de turba (peat moss), perlita y vermiculita (relación 2:1:1), mismo que fue esterilizado en autoclave a 18 Lb/plg² de presión por 2 h. Con este sustrato se rellenaron macetas de 1.3 L de capacidad.

3.4 Regímenes de riego

Se utilizó agua con una conductividad eléctrica de 2.5 dS m⁻¹ para así generar un estrés salino. Los riegos se aplicaron a partir del porcentaje de abatimiento de la humedad aprovechable del sustrato, siendo este el 100%, aplicando las variantes de 75%, 50% y 25 % conforme al total, para así obtener distintos regímenes de riego (Tabla 1) y generar un déficit de agua. Los riegos quedaron de la siguiente manera:

Tabla 1. Regímenes de riego aplicados

Porcentaje de abatimiento de la HA	mL de agua
100%	224
75%	168
50%	112
25%	56

3.5. Tipos de rizobacterias y preparación de inóculos

Las bacterias fueron identificadas por análisis del DNA de las cepas (Tabla 2), aisladas de la rizosfera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) localizada en el municipio de Viesca, Coahuila (Figura 3), sus características de tolerancia a la salinidad, producción de la enzima ACC desaminasa, Solubilización de fosfatos, producción de sideróforos y ácido indolacético, las hacen pertenecer al grupo de PGPR.

Tabla 2. Identificación por análisis de 16s rRNA de bacterias aisladas de la rizosfera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*)

ID	Taxon	bp	Identity	Acces Number
NFbEcto18	<i>Acinetobacter johnsonii</i>	353	82	NR_164627.1
CASEcto4	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	1402	99	NR_036904.1
CASEcto12	<i>Mixta gaviniae</i>	641	99	NR_117305.1
CASEcto13	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	1377	95	NR_113957.1
CASEndo10	<i>Bacillus cereus</i>	1398	99	NR_074540.1

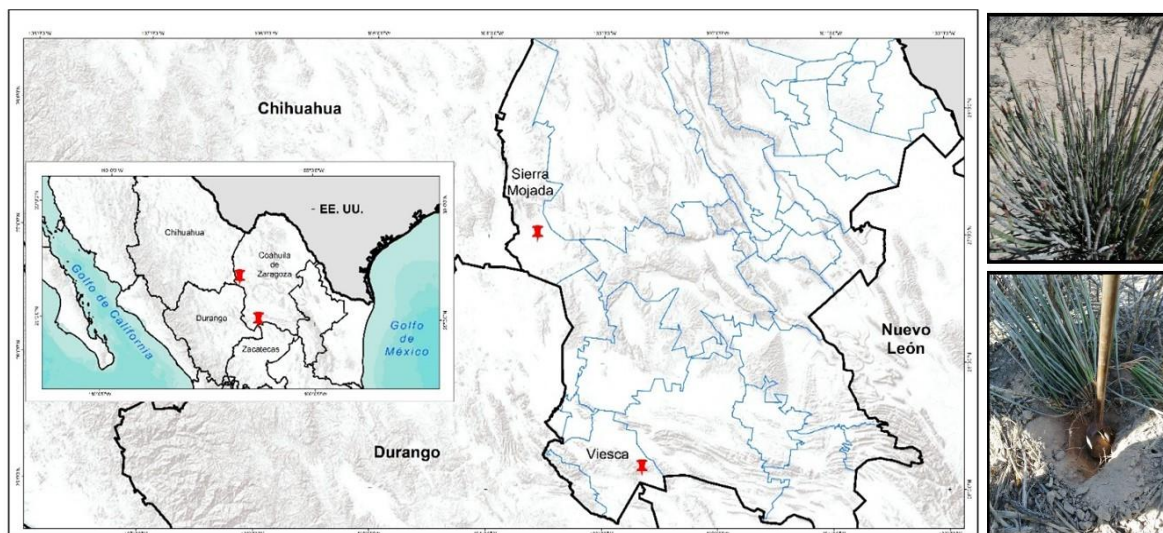


Figura 3. Localización de la toma de muestras, Municipio de Viesca, Rancho Pénjamo, Coahuila

Las cepas bacterianas se cultivaron en caldo nutritivo en agitación constante por tres días a 28 °C hasta obtener una concentración de 1×10^8 UFC ml⁻¹. Se realizó una inoculación directa sobre la semilla de chile serrano con la concentración antes mencionada, después de cuatro días, se colocaron en macetas con el sustrato previamente indicado (5 semillas por maceta y tres macetas por tratamiento), cuatro días después de la siembra en macetas, las plántulas fueron reinoculadas con una concentración de 1×10^8 UFC por ml, para ser cosechadas a los 50 días.

3.6. Tratamientos y diseño

Se utilizó un arreglo factorial A x B, donde el factor “A” son las seis rizobacterias utilizadas y un testigo sin inocular, el factor “B” fueron los cuatro regímenes de riego, bajo un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones, dando un total de ciento cuarenta unidades experimentales.

Los tratamientos evaluados se muestran a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Tratamientos evaluados

Tratamientos	Rizobacteria + Riego
T1	Testigo sin inocular + Riego del 100%
T2	Testigo sin inocular + Riego del 75%
T3	Testigo sin inocular + Riego del 50%
T4	Testigo sin inocular + Riego del 25%
T5	NFbEcto18 + Riego del 100%
T6	NFbEcto18 + Riego del 75%
T7	NFbEcto18 + Riego del 50%
T8	NFbEcto18 + Riego del 25%
T9	CASEcto4 + Riego del 100%
T10	CASEcto4 + Riego del 75%
T11	CASEcto4 + Riego del 50%
T12	CASEcto4 + Riego del 25%
T13	CASEcto12 + Riego del 100%
T14	CASEcto12 + Riego del 75%

T15	CASEcto12 + Riego del 50%
T16	CASEcto12 + Riego del 25%
T17	CASEcto13 + Riego del 100%
T18	CASEcto13 + Riego del 75%
T19	CASEcto13 + Riego del 50%
T20	CASEcto13 + Riego del 25%
T21	CASEndo7 + Riego del 100%
T22	CASEndo7 + Riego del 75%
T23	CASEndo7 + Riego del 50%
T24	CASEndo7 + Riego del 25%
T25	CASEndo10 + Riego del 100%
T26	CASEndo10 + Riego del 75%
T27	CASEndo10 + Riego del 50%
T28	CASEndo10 + Riego del 25%

3.7. Variables evaluadas en las plántulas de chile.

3.7.1. Altura de plántula

Esta variable se midió cada tercer día antes de cada aplicación de los tratamientos. Se utilizó una cinta métrica *STANLEY* 8m/26', los datos referidos a esta variable se expresan en centímetros (cm).

3.7.2. Longitud de raíz

Al realizar el muestreo destructivo de la planta, a la raíz se le eliminó el exceso de sustrato lavándose con agua, al quedar limpia la raíz se midió con cinta métrica en cada corte.

3.7.3. Peso fresco de hojas, tallo y raíz

Se cuantificó solo una vez, al finalizar el trabajo experimental. Se utilizó una balanza analítica digital VE-500. Los resultados obtenidos se expresan en gramos (g).

3.7.4. Peso seco de hojas, tallo y raíz (Materia seca)

Se cuantifico al finalizar el trabajo experimental. Se dejó el material vegetativo previamente pesado durante 72 horas en una estufa de secado a una temperatura de 65 °C, posteriormente se pesó en una balanza analítica digital VE-500, los resultados para esta variable se expresan en gramos (g).

3.7.5. Concentración de Sodio en plántula

Para la determinación del contenido de Na^+ , se tomaron plántulas de chile serrano de 40 días de edad de cada uno de los tratamientos evaluados, se sometieron a digestión vía seca y analizadas en un espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC Exploraa.

3.7.6. Análisis microbiológico (UFC)

Se realizó análisis microbiológico de la parte radical de la plántula, lavando con agua destilada, se realizaron diluciones seriadas (-1, -2 y -3) con agua tridestilada para pasar a la siembra en caja Petri con medio LB. Se sembraron las diluciones -3. Después de la siembra se incubaron por 72 horas, para lo cual se utilizó la fórmula de Unidades Formadoras de Colonias por gramo de raíz de acuerdo al procedimiento de dilución seriada (UFC gr sustrato⁻¹).

$$UFC/gr = \frac{\text{No. De colonias}}{\text{mL sembrado} * \text{dilución utilizada}}$$

3.8. Análisis Estadístico

Los datos de las variables fueron analizados mediante análisis de varianza y prueba de separación de medias utilizando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System Institute) versión 9.1. Las gráficas fueron elaboradas en el programa GraphPad Prism 6.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Efectividad de las rizobacterias en la promoción del crecimiento en plántulas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.)

El análisis estadístico para la evaluación del efecto de las rizobacterias sobre la promoción de crecimiento de las plántulas de chile serrano (Tabla 4), a los 50 días después de la siembra (dds), manifestó diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 4. Efecto de las rizobacterias en la promoción del crecimiento de plántulas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.)

	Altura de planta (cm)	Longitud de raíz (cm)	Peso fresco (g)	Materia seca (g)
Testigo	3.6 e	5.325 c	0.232 c	0.024 c
NFbEcto18	9.975 a	8.15 a	1.018 a	0.067 b
CASEcto4	6.375 c	4.675 d	0.16 d	0.026 c
CASEcto12	9.05 b	6.1 b	1.045 a	0.079 a
CASEcto13	4.9 d	6.3 b	0.219 cd	0.023 c
CASEndo7	6.025 c	6.25 b	0.331 b	0.024 c
CASEndo10	5.825 c	6.2 b	0.247 c	0.050 b

*Medias con letras diferentes, en cada columna, representan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

En la Tabla 4, podemos observar que para la variable de altura de planta la cepa identificada como NFbEcto18 (*Acinetobacter johnsonii*) obtuvo un promedio de 9.975 cm; al igual que para la variable de longitud de raíz donde su longitud promedio fue de 8.150 cm, mostrando así, diferencias significativas con respecto al tratamiento sin inocular. En las variables de peso fresco y materia seca, la rizobacteria CASEcto12 (*Mixta gaviniae*) con 1.045 g y 0.079 g, manifestando diferencias significativas con respecto al tratamiento sin inocular.

Lo anterior nos demuestra que las rizobacterias identificadas como NFbEcto18 (*Acinetobacter johnsonii*) y CASEcto12 (*Mixta gaviniae*) pueden ser utilizadas como

promotoras de crecimiento, ya que en un estudio previo de Salazar-Ramírez *et al.* (2021), dichas rizobacterias mostraron que tienen diversas capacidades como: tolerar la salinidad hasta un 15% (2.55 M), producción de la enzima ACC desaminasa, solubilización de fosfatos, producción de sideróforos y ácido indolacético, promovió el crecimiento por compuestos difusible y volátiles en *Arabidopsis thaliana*, por lo cual se le considero como PGPR.

De acuerdo con Kang *et al.* (2012) la aplicación de la rizobacteria del género *Acinetobacter* en plántulas de pepino, mostro una promoción de crecimiento en altura de planta (27.47 cm), peso fresco (6.28 g) y materia seca (0.73 g) a los 41 dds. En otra investigación, Kang *et al.* (2014), utilizo de nuevo la rizobacteria del género *Acinetobacter* en plántulas de pepino, 21 días después de su brote, las sometió a un estrés salino, agregando NaCl al agua de riego, aquí evaluó el peso fresco donde obtuvo 27.88 g y materia seca con 6.96, las cuales tiene diferencia significativa con respecto al control sin inocular.

La rizobacteria del género *Acinetobacter* ha obtenido resultados altamente significativos como promotora de crecimiento en cultivos de alfalfa, avena, (Li *et al.* 2020) betabel (Shi, Lou & Li, 2011), tomate y pimiento morrón (Padmavathi, Dikshit, & Seshagiri, 2015), en este último se obtuvieron 22.84 g en peso fresco y 9.21 g en materia seca, por lo que mostraron diferencias significativas con respecto al control sin inocular.

La rizobacteria *Mixta* fue propuesto como género novedoso en 2018, basado en un estudio genómico de miembros del género *Pantoea*. Las primeras cuatro especies que se colocaron en este género se reclasificaron del género *Pantoea*. El nombre del género *Mixta* se refiere a los "estilos de vida mixtos de las especies en el género" (Palmer *et al.* 2018). Por lo anterior, no hay muchos estudios que se refieran a la eficacia de promoción de crecimiento de la rizobacteria *Mixta gaviniae*; pero si hay varias referencias del género *Pantoea*.

Según un estudio realizado por Kim *et al* (2012), el género *Pantoea*, aumento la altura de planta, numero de hojas y peso fresco de plantas de pepino, tomate y chile hasta en 123% en comparación con el control sin inocular. Le genero *Pantoea*

aumento la biomasa del garbanzo a 7.1 g comparado con el control sin inocular que obtuvo 6.4 g (Panwar, *et al.* 2016).

4.2. Efectividad de los regímenes de riego en el crecimiento de plántulas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.)

De acuerdo con los regímenes de riego utilizados, a partir del porcentaje de abatimiento de la humedad aprovechable, y las variables evaluadas, para la altura de planta el mejor riego fue de 100% (224 mL); para longitud de raíz y peso fresco, el riego que se destacó fue el 25% (56mL) y para la materia seca el riego de 50% (112mL) fue el que mostro los mejores resultados (Tabla 5).

El régimen de riego del 25%, cumple con uno de los objetivos planteados, el cual nos muestra que aun en déficit hídrico, se puede promover el crecimiento de plántulas de chile de una manera adecuada.

Tabla 5. Efecto de los regímenes de riego en el crecimiento de plántulas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.)

	Altura de planta (cm)	Longitud de raíz (cm)	Peso fresco (g)	Materia seca (g)
Riego 100%	6.986 a	6.071 b	0.478 a	0.045 b
Riego 75%	6.7 ab	5.786 b	0.406 b	0.030 b
Riego 50%	6.3 bc	5.929 b	0.487 a	0.053 a
Riego 25%	6.157 c	6.786 a	0.487 a	0.039 b

*Medias con letras diferentes, en cada columna, representan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

Según Florido Bacallao y Bao Fundora (2014), el déficit hídrico afecta cada aspecto del crecimiento de la planta que involucra a la anatomía, morfología, fisiología y bioquímica. Entre los efectos generales más obvios de estrés hídrico son los fallos

en la germinación, la reducción en la altura de la planta, área foliar y rendimiento del cultivo.

El agua utilizada para los riegos se manejó con una conductividad eléctrica de 2.5 ds m^{-1} , que, dentro de la clasificación de agua de riego, se considera con alta salinidad. El chile se considera moderadamente tolerante a la salinidad porque a partir del uso de agua con una conductividad eléctrica de 2 dS m^{-1} , la producción de biomasa se ve afectada (Queiroz Lopes *et al.*, 2019).

4.3. Efectividad de las interacciones de rizobacterias y regímenes de riego en la promoción del crecimiento de plántulas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.)

En cuanto a la efectividad de la interacción de rizobacteria y regímenes de riego, hubo dos que resultaron con diferencias significativas con respecto al control sin inocular, CASEcto12 (*Mixta gaviniae*) con el régimen de riego del 100% (224 mL) y NFbEcto18 (*Acinetobacter johnsonii*) con el régimen de riego del 25% (56 mL), este último, cumple con dos de los objetivos de este trabajo, encontrar una cepa bacteriana que promueva el crecimiento y a su vez proteja del estrés hídrico (Tabla 6).

Existen reportes que han mostrado que tratamientos con PGPR que poseen la enzima ACC desaminasa reducen los niveles de estrés y confieren tolerancia a salinidad en cultivos que crecen en medios con altas concentraciones salinas (Saharan & Nehra, 2011; Gontia *et al.*, 2014; Ali *et al.*, 2014).

Tabla 6. Efecto de las interacciones de rizobacterias y regímenes de riego en la promoción del crecimiento de plántulas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.)

Tratamientos	Altura de planta (cm)				Longitud de raíz (cm)				Peso fresco (g)				Materia seca (g)			
	Riegos				Riegos				Riegos				Riegos			
	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%
Control	4.5jk	3.4k	3.1k	3.4k	5.7hij	4.0lm	6.1ghi	5.5ijk	0.228ijkl	0.234hijk	0.220ijkl	0.246ghij	0.047kl	0.086hij	0.130efg	0.021mn
NFbEcto18	8.8de	8.2ef	10.5bc	12.4a	10.6a	7.7cd	7.2de	7.1de	0.877cd	0.845d	1.082b	1.266a	0.239c	0.128efg	0.284b	0.394a
CASEcto4	9.5cd	7.8efg	4.8k	3.4d	3.5m	4.8klm	4.8klm	5.6hij	0.152jkl	0.134kl	0.190jkl	0.163d	0.020mn	0.058jkl	0.039lm	0.094ghi
CASEcto12	11.5ab	9.6cd	9.8cd	5.3j	5.9ghij	7.0def	6.3fgh	5.2jkl	1.248a	0.896cd	1.083b	0.953c	0.395a	0.192d	0.287b	0.265bc
CASEcto13	4.9kj	5.2j	4.1jk	5.4ij	4.6klm	4.7klm	7.6cd	8.3bc	0.140kl	0.190jkl	0.318efgh	0.226ijkl	0.017n	0.024mn	0.133efg	0.011n
CASEndo7	4.6jk	5.5ij	7.2fgh	6.8gh	6.1ghi	5.7hij	4.7klm	8.5b	0.408e	0.216ijkl	0.357ef	0.342ef	0.159ef	0.037lm	0.047kl	0.099ghi
CASEndo10	5.1jk	7.2fgh	4.6c	6.4hi	6.1ghi	6.6efg	4.8klm	7.3de	0.289fghi	0.328efg	0.156jkl	0.215ijkl	0.037lm	0.113fgh	0.097ghi	0.086hij
DMS	1.046				0.73				0.089				0.116			
CME	0.693				0.338				0.005				0.05			

*Medias con letras diferentes, en cada columna, representan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMS: Diferencia Mínima Significativa

CME: Cuadrado Medio del Error



Figura 4. Efecto de promoción de crecimiento de las PGPR sobre las plántulas de chile serrano a los 50 días después de la siembra bajo un riego del 100%.



Figura 5. Efecto de promoción de crecimiento de las PGPR sobre las plántulas de chile serrano a los 50 días después de la siembra bajo un riego del 75%.



Figura 6. Efecto de promoción de crecimiento de las PGPR sobre las plántulas de chile serrano a los 50 días después de la siembra bajo un riego del 50%.



Figura 7. Efecto de promoción de crecimiento de las PGPR sobre las plántulas de chile serrano a los 50 días después de la siembra bajo un riego del 25%.

4.4 Contenido de sodio en plántulas

La figura 8, muestra que para la variable de concentración de Na^+ en plántula, las cepas identificada como NFbEcto18 (*Acinetobacter johnsonii*) y CASEcto12 (*Mixta gaviniae*) obtuvieron en promedio una concentración de $4,529.14 \text{ mg Na}^+ \text{ kg de planta}^{-1}$ y $3,601.83 \text{ mg Na}^+ \text{ kg de planta}^{-1}$ respectivamente en cada uno de los distintos regímenes de riego; demostrando así que estas 2 cepas, dan una protección a la plántula, disminuyendo la concentración de Na^+ de 4 a 6 veces, con respecto al control sin inocular.

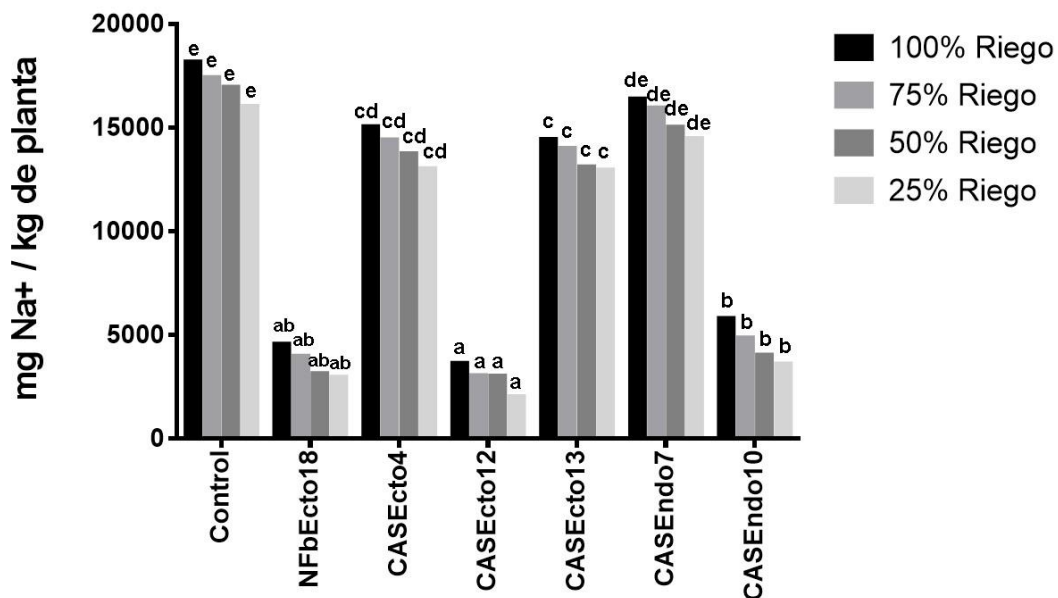


Figura 8. Concentración de Na^+ en plántulas de chile serrano a los 50 días después de la siembra (dds). Letras distintas dentro de cada grupo de columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey; $P \leq 0.05$).

La reducción en el crecimiento de la planta y el rendimiento, es ocasionado en gran parte por el estrés por salinidad (Na^+), esto a su vez, ocasiona la reducción de la absorción de agua por las plantas, debido al efecto osmótico y toxicidad de la sal, dentro de las alteraciones que se provocan son el desequilibrio iónico u otros trastornos metabólicos debidos a sal (Na^+) (Hussain *et al.* 2008; Karlidag *et al.* 2013).

4.5. Análisis microbiológico (UFC)

En el conteo microbiológico no se encontraron diferencia significativa entre las cepas ni entre regímenes de riego. Se observó un desarrollo promedio en todas las muestras de entre 1.2×10^{-5} y 1.5×10^{-5} UFC por gramo de raíz (Figura 9).

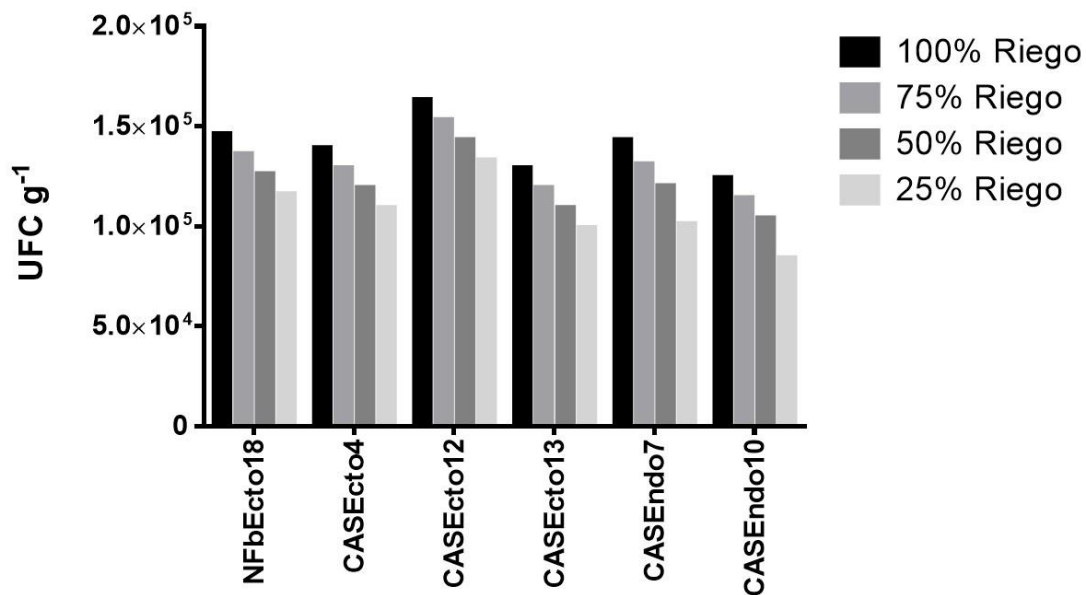


Figura 9. Comparación de medias de Unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de raíz a los 50 días después de la siembra (dds), de plántulas de chile serrano.

Realizar el análisis de UFC nos sirve para observar el comportamiento microbiológico y saber si se le puede atribuir alguna respuesta positiva o negativa a las bacterias; en este caso y por resultado obtenidos, si se puede atribuir una respuesta positiva a estas rizobacterias.

V. CONCLUSIONES

- ✓ El uso de PGPR, es efectivo para promover el crecimiento de plántulas de chile serrano.
- ✓ NFbEcto18 (*Acinetobacter johnsonii*) y CASEcto12 (*Mixta gaviniae*) promovieron mayor altura, mayor peso en fresco y materia seca en plántulas de chile serrano.
- ✓ NFbEcto18 (*Acinetobacter johnsonii*) puede ser utilizada en condiciones de estrés hídrico, ya que sus resultados con un riego al 25% fueron significativos.
- ✓ NFbEcto18 (*Acinetobacter johnsonii*) y CASEcto12 (*Mixta gaviniae*) estimularon una menor concentración de Na^+ en la plántula, por lo que pueden ser utilizadas en suelo o agua de riego salinos.
- ✓ *Mixta gaviniae* tiene pocos registros como PGPR por lo que estos resultados pueden ser de gran aporte a la ciencia.

VI. LITERATURA CITADA

- Abeles B, Morgan W, Saltveit M. (1992). Ethylene in Plant Biology. San Diego, CA: Academic Press.
- Abel S, Theologis A. (1996). Early genes and auxin action. *Plant Physiol.* 111:9-17.
- Ali, S., Charles, T. & Glick, B. (2014). Amelioration of high salinity stress damage by plant growth promoting bacterial endophytes that contain ACC deaminase. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80,160-167.
- Altomare C. y Tringovska I. (2011). Beneficial soil microorganisms, an ecological alternative for soil fertility management. En: Genetics, biofuels and local farming systems (E. Lichtfouse, Ed.). Sustainable agriculture reviews, Vol. 7. Springer, Países Bajos. pp. 161-214. DOI: 10.1007/978-94-007-1521-9_6
- Azuma R., N. Ito, N. Nakayama, R. Suwa, N. Nguyen, J. A. Larrinaga-Mayoral, M. Esaka, H. Fujiyama and H. Saneoka (2010) Fruits are more sensitive to salinity than leaves and stems in pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae* 125:171-178
- Bais H. P., Weir T. L., Perry L. G., Gilroy S. y Vivanco J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant Biol.* 57, 233-66.
- Bano A, Fatima M. (2009). Salt tolerance in *Zea mays* (L). following inoculation with *Rhizobium* and *Pseudomonas*. *Biol Fert Soils* 45: 405-413.
- Bhattacharyya PN, Jha DK. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *Rev World J Microbiol Biotechnol* 28:1327-1350

- Blum, A. (1988) Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Florida, p.223.
- Bot A, Nachtergaele F, Young A. (2000). Land resource potential and constraints at regional and country levels (No. 90). Land and Water Development Division, Food & Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Breckle, S.W. (2002). Salinity, halophytes and salt-affected natural ecosystems. In: Salinity: environment-plant-molecules. Läuchli, A., Lüttge, U. (eds.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. NL, pp 53-77.
- Campbell, N., Mitchell, L. & Reece, J. (2001). Biología: Conceptos y relaciones. (3era ed.) México: Ed. Pearson Educación. 809 pp.
- Castiglioni P, Warner D, Benson RJ, Anstrom DC, Harrison J, Stoecker M, Abad M, Kumar G, Salvador S, D'Ordine R, Navarro S, Back S, Fernandes M, Targolli J, Dasgupta S, Bonin C, Luethy MH, Heard, JE. (2008). Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress tolerance to plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions. *Plant Physiol* 147:446–455.
- Ceccarelli, S. (1989). Wide adaptation: How wide? *Euphytica* 40: 197-205.
- Cowan AK, Cairns AL, Bartels-Rham B. (1999). Regulation of abscisic acid metabolism: towards a metabolic basis for abscisic acid-cytokinin antagonism. *J Exp Bot* 50:595-603.
- Curtis, H., Barnes, N., Schnek, A. & Massarini, A. (2008). Biología. (7ma ed.). España: Ed. Médica Panamericana. 1160 pp.
- Davies J, Zhang H. (1991). Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu. Rev. Plant Phys* 42, 55–76.
- De-Bashan L. E., Holguin G., Glick B. R. y Bashan Y. (2007). Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. En: Microbiología

- agrícola (R. Ferrara- Cerrato y A. Alarcón, Eds.). Editorial Trillas, México, D.F., México, pp. 170-209.
- Dias A. C. F., Costa F. E. C., Andreote F. D., Lacava P. T., Teixeira M. A., Assumpcao L. C., Araujo W. L., Azevedo J. L. y Melo I. S. (2009). Isolation of micropropagated strawberry endophytic bacteria and assessment of their potential for plant growth promotion. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 25 (2), 189-195. DOI: 10.1007/s11274-008-9878-0
- Esquivel-Cote R, R M Ramírez-Gama, G Tsuzuki-Reyes, A Orozco-Segovia, P Huante. (2010). *Azospirillum lipoferum* containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase improves early growth of tomato seedlings under nitrogen deficiency. *Plant Soil* 337:65-75.
- Esquivel Cote, Rosalba., Marina Gavilanes Ruiz., Rocío Cruz Ortega., Pilar Huante. (2013). Importancia Agrobiotecnológica de la enzima ACC Desaminasa en Rizobacterias, Una Revisión. Laboratorio de Microbiología Experimental, Departamento de Biología. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 36 (3): 251-258, 2013
- Florida Bacallao, Marilyn; Bao Fundora Lourdes. (2014). Revisión bibliográfica Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*. Vol. 35, no. 3, pp. 70-88
- Gamalero E, Berta G, Glick R. (2009). The use of microorganisms to facilitate the growth of plants in saline soils. En: Khan MS, Zaidi A, Musarrat J (eds) *Microbial strategies for crop improvement*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 1-22.
- Garrido López, Ó. D. (2013). Uso de un polímero hidrófilo en el cultivo de chile serrano (*Capsicum annum* L.) en condiciones de invernadero.
- Gillapsy, G., Ben-David, H., Gruissen, W. (1993). Fruits: a developmental perspective. *Plant Cell* 5: 1439-1452.

- Giri B, Kapoor R, Agarwal L, Mukerji KG. (2004). Preinoculation with arbuscular mycorrhizae helps *Acacia auriculiformis* grow in a degraded Indian wasteland soil. *Commun Soil Sci Plant Anal* 35:193-204.
- Glick BR, Todorovic B, Czarny J, Cheng Z, Duan J, McConkey B. (2007). Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Crit Rev Plant Sci* 26:227-242.
- Gontia, M., Sasidharan, S. & Tiwari, S. (2014). Recent developments in use of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase for conferring tolerance to biotic and abiotic stress. *Biotechnology Letters*, 36(5), 889–98.
- Goyal, S.S., Sharma, S.K., Rains, D.W., Laüchli, A. (1999). Long-term use of drainage waters of varying salinities for crop irrigation in a cotton-safflower rotation system in the San Joaquin Valley of California—a nine years study: I. Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal Crop Production*. 2: 181-213.
- Hariprasad P. y Niranjana S. R. (2009). Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. *Plant Soil* 316 (1), 13-24. DOI: 10.1007/s11104-008-9754-6
- Hussain K, Ashraf M, Ashraf MY (2008) Relación entre crecimiento y relación iónica en el mijo perla (*Pennisetum glaucum* L.) en diferentes etapas de crecimiento bajo estrés salino. *Afr J Plant Sci* 2: 23-27 Jackson ML (1973) Métodos de análisis químico. Prentice Hall de India (Pvt) Ltd, Nueva Delhi
- Jain M, Mathur G, Koul S, Sarin N. (2001). Ameliorative effects of proline on salt stress induced lipid peroxidation in cell lines of groundnut (*Arachis hypogea* L.) *Plant Cell Rep* 20:463-468.
- Jha B, Gontia I, Hartmann A. (2011). The roots of the halophyte *Salicornia brachiata* are a source of new halotolerant diazotrophic bacteria with plant growth-promoting potential. *Plant Soil*. 356: 265-277

- Jha Y, Subramanian RB. (2014). PGPR regulate caspase-like activity, programmed cell death, and antioxidant enzyme activity in paddy under salinity. *Physiol Mol Biol Plants* 20:201-207.
- Kang, Sang-Mo & Khan, Abdul & Hamayun, Muhammad & Shinwari, Zabta & Kim, Yoon-Ha & Joo, Gil-Jae & Lee, In-Jung. (2012). Acinetobacter Calcoaceticus ameliorated plant growth and influenced gibberellins and functional biochemicals. Abstracts of papers. 44. 365-372.
- Kang, Sang-Mo, Abdul Latif Khan, Muhammad Waqas, Young-Hyun You, Jin-Ho Kim, Jong-Guk Kim, Muhammad Hamayun & In-Jung Lee. (2014). Plant growthpromoting rhizobacteria reduce adverse effects of salinity and osmotic stress by regulating phytohormones and antioxidants in *Cucumissativus*, Journal of Plant Interactions, 9:1, 673-682, DOI: 10.1080/17429145.2014.89458
- Khan MH, Panda SK. (2008). Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiol Planta* 30:81-89.
- Kim, Su-Nam & Cho, Won-Kyong & Kim, won-Il & Jee, Hyeong-Jin & Park, Chang-Seuk. (2012). Growth Promotion of Pepper Plants by Pantoea ananatis B1-9 and its Efficient Endophytic Colonization Capacity in Plant Tissues. The Plant Pathology Journal. 28. 10.5423/PPJ.OA.02.2012.0026.
- Kohler J, Caravaca F, del Mar Alguacil M, Roldán A. (2009a). Elevated CO₂ increases the effect of an arbuscular mycorrhizal fungus and a plant-growth-promoting rhizobacterium on structural stability of a semiarid agricultural soil under drought conditions. *Soil Biol Biochem* 41:1710-1716.
- Kohler J, Hernández JA, Caravaca F, Roldan A. (2009b). Induction of antioxidant enzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of lettuce to severe salt stress. *Environ Exp Bot* 65:245-252.

- Kumar, A., Kumar, A., Devi, S., Patil, S., Payal, C. & Negi, S. (2012). Isolation, screening and characterization of bacteria from Rhizospheric soils for different plant growth promotion (PGP) activities: an in vitro study. *Recent Research in Science and Technology*, 4(1), 1-5.
- Kumar A., J. F. Dames, A. Gupta, S. Sharma, J. A. Gilbert and P. Ahmad (2015) Current developments in arbuscular mycorrhizal fungi research and its role in salinity stress alleviation: a biotechnological perspective. *Critical Reviews in Biotechnology* 35:461-474.
- Li, Haiyun & Qiu, Yizhi & Yao, Tuo & Ma, Yachun & Zhang, Huirong & Yang, Xiaolei. (2020). Effects of PGPR microbial inoculants on the growth and soil properties of *Avena sativa*, *Medicago sativa*, and *Cucumis sativus* seedlings. *Soil and Tillage Research*. 199. 104577. 10.1016/j.still.2020.104577.
- Mano, J. (2002). Early events in environmental stresses in plants-induction mechanisms of oxidative stress. En: *Oxidative stress in plants*. Ed: Inzé, D., Van Montagu, M. Taylor & Francis, London. UK, pp. 217-246
- Mendelsohn R, Rosenberg NJ. (1994). Framework for integrated assessments of global warming impacts. En *Assessing the impacts of climate change on natural resource systems* (pp. 15-44) Springer Netherlands.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25: 239-250.
- Miransari M, Smith DL. (2014). Plant Hormones and seed germination. *Environ Exp Bot* 99:110-121.
- Milošević A, Marinković B, Tintor B. (2012). Mitigating abiotic stress in crop plants by microorganisms. *Matica Srpska Proceedings for Natural Sciences* 123:17-26.
- Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAOSTAT) (2013). <http://faostat3.fao.org/>

- Padmavathi, T., Dikshit, R. & Seshagiri, S. (2015). Effect of *Rhizophagus* spp. and plant growth-promoting *Acinetobacter junii* on *Solanum lycopersicum* and *Capsicum annuum*. *Braz. J. Bot* 38, 273–280 <https://doi.org/10.1007/s40415-015-0144-z>
- Palmer, M.; Steenkamp, E. T.; Coetzee, M.P.A.; Avontuur, J.R.; Chan, W.Y.; Van Zyl, E.; Blom, J.; Venter, S.N. (2018). "Mixta gen. nov., a new genus in the Erwiniaceae". *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 68 (4): 1396–1407. [doi:10.1099/ijsem.0.002540](https://doi.org/10.1099/ijsem.0.002540)
- Panwar, M., Tewari, R., Gulati, A. et al. (2016). Indigenous salt-tolerant rhizobacterium *Pantoea dispersa* (PSB3) reduces sodium uptake and mitigates the effects of salt stress on growth and yield of chickpea. *Acta Physiol Plant* 38, 278 <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2284-6>
- Parry, M.L., Rosenzweig, C., Livermore, M. (2005). Climate change, global food supply and risk of hunger. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 360: 2125-2136.
- Pitman, M.G., Läuchli, A. (2002). Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: Salinity: environment-plant-molecules. Läuchli, A., Lüttge, U. (eds.) Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. NL, pp. 3-20.
- Rodríguez M, Flórez R. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. Ferti-riego: tecnologías y programación en agroplasticura.
- Robertson GP, Paul EA, Harwood RR. (2000). Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Sci* 289: 1922-1924.
- Rives N, Acebo Y, Hernández A. (2007). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Perspectivas de su uso en cuba. Redalyc*; 28(2): 29– 38.

- Rojas, S., García, J. & Alarcón. M. (2004). Propagación asexual de plantas. Colombia: Ed. Corpoica. 55 pp.
- Sairam RK, Tyagi A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Curr Sci India* 86:407-421.
- Saghir, K. M., Zaidi, A. & Musarrat, J. (Ed). (2009). *Microbial Strategies for Crop Improvement*. London New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Saharan, B. & Nehra, V. (2011). Plant Growth Promoting Rhizobacteria: A Critical Review. *Life Sciences and Medicine Research*, 2011, 1-30.
- Salisbury, F. & C. Ross. (1984). *Plant Physiology*. Third edition. Wadsworth publishing company. California. U.S.A
- Saleem M, Arshad M, Hussain S, Bhatti AS. (2007). Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. *J Ind Microbiol Biotechnol* 34:635-64.
- Sandhya V., Ali S. Z., Venkateswarlu B., Reddy G. y Grover M. (2010). Effect of osmotic stress on plant growth promoting *Pseudomonas* spp. *Arch. Microbiol.* 192 (10), 867-876. DOI: 10.1007/s00203-010-0613-5
- Saraf M., Kumar J. C. y Patel D. (2011). The role of ACC deaminase producing PGPR in sustainable agriculture. En: *Plant growth and health promoting bacteria* (D. K. Maheshwari, Ed.). Springer Berlin Heidelberg, Microbiology Monographs Vol. 18, pp. 365-385. DOI: 10.1007/978-3-642-13612-2_16
- Sauer M, Robert S, Kleine-Vehn J. (2013). Auxin: simply complicated. *J Exp Bot*: 1-13.
- Seldin, L, Van Elsas JD, Penido EGC (1984) *Bacillus azotofixans* sp. nov., a nitrogen-fixing species from Brazilian soils and grass roots. *Int J Sys Bacteriol* 34:451–456.

- SIAP-SAGARPA (2005). Servicio información y estadística agroalimentaria y pesquera (SIAP), con información de las delegaciones de la SAGARPA en los estados. Pagina WEB: http://siea.sagarpa.gob.mx/http://http://reportes.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp
- Shennan, C., Grattan, S.R., May, D.M., Hollhouse, C.J., Schachtman, D.P., Wander, M., Roberts, B., Tafoya, S., Buran R.G., McNeish, C., Zelinski, L. (1995). Feasibility of cyclic reuse of saline drainage in a tomato-cotton rotation. *Journal of Environmental Quality* 24: 476-486.
- Shi, Y., Lou, K. & Li, C. (2011). Growth promotion effects of the endophyte *Acinetobacter johnsonii* strain 3-1 on sugar beet. *Symbiosis* 54, 159–166. <https://doi.org/10.1007/s13199-011-0139-x>
- Su, Y., Liu, Y. & Zhang, X. (2011). Auxin– Cytokinin Interaction Regulates Meristem Development. *Molecular Plant* 4(4): 616–625.
- Talón, M., Tad, F.R., Zeevaart, J.A.D. (1991) Cellular changes induces by exogenous and endogenous gibberellins in the shoot tips of the long-day plant silene armeria. *Planta* 185: 487-493.
- Tanji, K.K. (2002) Salinity in the soil environment. In: Salinity: environment-plants molecules. Ed: Läuchli, A, Lüttge, U. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. NL, pp. 21-52.
- Turner, N.C. (1986) Adaptation to Water Stress Deficit. A Changing Perspective. *Journal Plant Physiology* 13: 175-190
- Turner, BL, E. Frossard, Oberson A. (2006). Enhancing phosphorus availability in low-fertility soils. *Biol Approaches to Sustain Soil Syst.* pp: 191-205.
- Wahid A, Close TJ (2007) Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. *Biol Plant* 51:104-109.

Yang J, Kloepper JW, Ryu CM (2009) Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Sci* 14:1-4.

Zahir Z A, M Arshad, W T Jr Frankenberger (2004) Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Adv. Agron.* 81:97-168.

Zeevaart, J.A.P., Gage, D.A., Talón, M. (1993) Gibberellin A1 is required for stem elongation in spinach under long-day conditions. *Proceeding of the National Academy of Science USA* 90: 7401-7405.